

рис.3. Характеристики УАС. А - зависимость тока разряда от давления в камере при токе катушки 0.5 А; В - зависимость тока разряда от тока катушки при давлении 0.0001 Торр

**Выводы.** По полученным результатам измерений (рис.3) область рабочих характеристик ускорителя лежит в низких давлениях, менее 0,0001 торр при токе катушки от 0,5 до 3 ампер. В области более высоких давлений при токе катушки от 1 до 3 ампер наблюдается дуговой разряд, при котором стабильный процесс напыления невозможен. Однако, при токе в 0,5 ампера, даже при повышении давления до 0,008 торр, дуговой разряд не наблюдался и процесс напыления проходит стабильно.

Автор благодарит Борисова А.А. (НГУ) за помощь в построении компьютерной модели и обсуждении результатов. Работа выполнена в рамках Проекта САЕ-НГУ: «Нелинейная фотоника и квантовые технологии».

Список публикаций:

- [1] Соловьёв А.А. // Устройства со скрещенными электрическим и магнитным полями для нанесения тонкоплёночных покрытий на подложки большой площади - 2007. С.5.
- [2] Цыбин Н.Н. // Многослойные абсорбционные фильтры для астрономии и проекционной литографии экстремального ультрафиолетового диапазона» Нижний Новгород – 2015. С.7.

## Возбуждение турбулентности в плазме вакуумного разряда

**Волжанинов Денис Александрович**

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

Музюкин Илья Львович, к.ф.-м.н.

[VolzhaninovDenis@yandex.ru](mailto:VolzhaninovDenis@yandex.ru)

Четвертое состояние вещества, плазма, отличается от горячего газа наличием коллективных эффектов. По сравнению с двухчастичными взаимодействиями, характерными для горячего газа, коллективные эффекты в плазме имеют гораздо большее влияние на поведение самого вещества. Одним из примеров коллективного взаимодействия является турбулентность плазмы. Данный эффект заключается в возникновении коллективных колебаний сортов частиц плазмы при поглощении энергии направленного в плазму электронного пучка или электромагнитной волны. Рассматриваемый эффект турбулентности плазмы возможно использовать для её нагрева. Этот метод был предложен Е. К. Завойским [1]. Важно отметить, что турбулентный нагрев электронов и ионов является бесстолкновительным процессом.

При горении вакуумной дуги были детектированы потоки электронов с энергиями, превышающими падение напряжения горения дуги [2]. В экспериментах наблюдались пучки с энергиями 50 эВ, когда расчетное значение энергии пучка составляло 2-5 эВ. Такое превышение не может быть объяснено тепловым энергетическим распределением. Необходимо отметить, что в ряде измерений высокоэнергетические пучки могут отсутствовать. В результате эксперимента была выявлена основная особенность высокоэнергетического пучка – соответствие пиков электронного потока неустойчивостям тока дуги. По мнению автора, данный феномен может быть объяснен возбуждением турбулентности в плазме. Как было описано выше, возможен турбулентный нагрев электронов, который объясняет наличие пучков с энергиями гораздо выше падения напряжения дуги. В свою очередь, наличие неустойчивости в плазме, чем и является турбулентность, приводит к уменьшению её проводимости, что в свою очередь приведет к неустойчивостям тока дуги.

Была поставлена задача, изучить турбулентность в плазме путём искусственного её возбуждения. Достичь выполнения поставленной задачи, было решено путем создания следующей установки (рис.1).

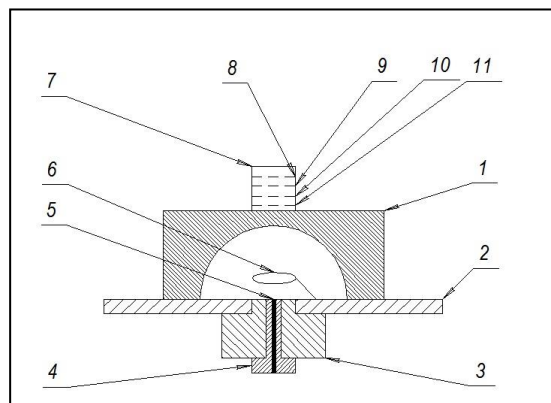


рис.1. Разрез установки. 1 – вогнутое зеркало резонатора, 2 – диэлектрическая подставка, 3 – латунный заземленный катод (плоское зеркало резонатора), 4 – диэлектрик, 5 – электрод-поджиг, 6 – анод, 7 – плазменный зонд, 8 – коллектор зонда, 9 – сетка-анализатор, 10 – сетка для разрыва плазмы, 11 – входная заземленная сетка

Разрядная система (катод, анод, электрод-поджиг) помещена в псевдооптический резонатор, состоящий из вогнутого и плоского зеркала. Это должно позволить достичь искусственного возбуждения турбулентности плазмы. В плазменном зонде сетка для разрыва плазмы имеет микронные размерные параметры, которые сравнимы с дебаевским радиусом, вследствие чего и возможен разрыв плазмы. Сетка-анализатор не даёт пройти к коллектору плазменного зонда частицам, чья энергия недостаточна для преодоления задерживающего потенциала сетки-анализатора.

Возбуждение турбулентности плазмы приводит к появлению высокоэнергетических пучков заряженных частиц, таким образом, ожидаемым результатом является наличие искажений тока дуги и резких пиков тока на коллектор плазменного зонда при большом задерживающем потенциале сетки-анализатора при каждом запуске установки. Это будет достоверным доказательством наличия искусственно возбуждённой турбулентности плазмы.

В ходе предварительных экспериментов были получены осциллограммы тока дуги без вогнутого зеркала резонатора и с установленным вогнутым зеркалом (рис.2).

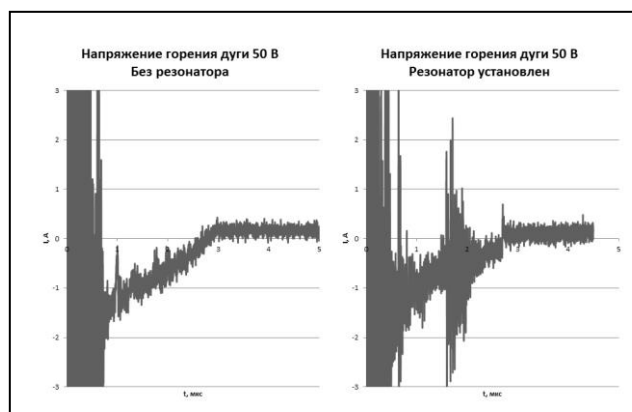


рис.2. Осциллограммы тока дуги

Полученные осциллограммы тока дуги не похожи на типичные осциллограммы тока дуги при спонтанной турбулентности. Этот факт требует дополнительных исследований.

Если ожидаемый результат подтвердится, будет возможно проведение следующего эксперимента: турбулентным нагревом плазмы приготовить горячую бесстолкновительную плазму дейтерия и трития. При появлении ионов с достаточной температурой, пропустить через плазму большой ток. Вследствие пинч-эффекта плазма сожмется, став столкновительной. И в этот момент будут соблюдены основные условия зажигания термоядерного синтеза.

Список публикаций:

- [1] Завойский Е. К. Коллективные взаимодействия и проблема получения высокотемпературной плазмы / Е. К. Завойский // Атомная энергия. – 1963. – №14. – С.57-65.
- [2] Музюкин И. Л. Экспериментальное исследование потоков заряженных частиц из плазмы импульсных вакуумных разрядов: Автореф... дис. канд. физ.-мат. наук. – Екатеринбург: ИЭФ, 2008. – 129 с.